昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*，November 2007，50(11)：1105－1110　　ISSN 0454-6296

禾谷缢管蚜在三个小麦品种上取食行为的 EPG 比较

胡想顺，赵惠燕*，胡祖庆，李东鸿，张宇红

（西北农林科技大学植物保护学院，陕西杨陵　712100）

摘要：应用刺探电位图谱（EPG）技术对禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 在不同小麦品种（Ww2730、小偃 22 和 Batis）苗期的取食行为进行了比较研究。结果表明：在小偃 22 上蚜虫开始取食的第 1 次刺探时间最晚，且持续时间最短；在 Ww2730 上取食受到机械阻力的个体最多，且出现 F 波的几率和持续时间最长；两品种上蚜虫在木质部主动摄取汁液（G 波）花费的时间最长。在 Batis 上，蚜虫口针第 1 次到达韧皮部时需要分泌较多水溶性唾液（E1 波），但随后只需分泌较少的水溶性唾液就可以成功取食，而且被动吸食韧皮部汁液的时间（E2 波）最长。蚜虫口针在到达小偃 22 韧皮部取食之前，出现多次的口针试探、回撤，并且多次、多量分泌水溶性唾液（E1 波）；虽然蚜虫在小偃 22 上口针最先到达韧皮部，但被动吸食韧皮部汁液的时间（E2 波）最短。由此得出结论：小偃 22 表皮部、韧皮部存在阻碍禾谷缢管蚜取食的物理和生化因素；禾谷缢管蚜在 Ww2730 取食遇到更多的是细胞间机械阻力；Batis 是较感蚜的品种。

关键词：禾谷缢管蚜；小麦；取食行为；抗性；刺探电位图谱技术

中图分类号：Q965　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2007)11-1105-06

Comparison of *Rhopalosiphum padi* feeding behavior on seedlings of three wheat varieties

HU Xiang-Shun，ZHAO Hui-Yan*，HU Zu-Qing，LI Dong-Hong，ZHANG Yu-Hong（1. College of Plant Protection，Northwest A & F University，Yangling，Shaanxi 712100，China）

Abstract：To elucidate aphid resistance mechanisms in three wheat cultivars Ww2730，Xiaoyan22 and Batis，*Rhopalosiphum padi* L.（Homoptera：Aphididae）feeding behavior was examined using the electrical penetration graph（EPG）technique. The results showed that the initial probing of *R. padi* on Xiaoyan22 occurred the latest and probing duration was also the shortest among the three cultivars examined. Highest frequency and longest duration of intercellular piercing（F waveform）of *R. padi* feeding was recorded on Ww2730. *R. padi* spent significantly more time feeding on mesophyll tissue to ingest actively（G waveform）on the both Ww2730 and Xiaoyan22 when compared with Batis. *R. padi* ingested from phloem of Batis with much more watery salivation and less excretion（E1 waveform），and ingested passively（E2 waveform）for the longest duration among all three cultivars examined. In contrast，before initiating ingestion on Xiaoyan22，aphids probed，withdrew uninterruptedly and with extended watery salivation（E1 waveform），the duration of passive ingestion（E2 wave）was also the shortest，although their stylets reached to phloem the earliest. We concluded that Ww2730 and Xiaoyan 22 were resistant to *R. padi* feeding，while Batis was susceptible to *R. padi* feeding. It was inferred that physical and biochemical factors in plant tissues（*e.g.*，epidermis，mesophyll and phloem）prevented *R. padi* from feeding on Xiaoyan22，mechanical restriction between the cells restricted *R. padi* to feed on Ww2730，while Batis is a susceptible variety to *R. padi*.

Key words：*Rhopalosiphum padi*；wheat；feeding behaviour；resistance；electrical penetration graph（EPG）

基金项目：国家自然科学基金项目（39970112，30470268）；中德农业合作项目（02/03）；西北农林科技大学青年专项基金项目（080807，08080252）

作者简介：胡想顺，男，1973 年生，甘肃天水人，在职博士研究生，讲师，从事昆虫生态学、农作物病虫害综合治理、抗虫育种与化学生态学研究工作，E-mail：huxiangshun@163.com；xiangshun@nwsuaf.edu.cn

* **通讯作者** Author for correspondence，E-mail：zhaohy1983@yahoo.com.cn

收稿日期 Received：2007-01-25；**接受日期** Accepted：2007-09-13

禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* L.是世界性小麦重要害虫,其取食可造成小麦千粒重下降(郭良珍等,2000);还可以传播病毒病,分泌蜜露影响光合作用(杨益众等,2005)。国内外已筛选出了一些抗禾谷缢管蚜的小麦及近缘抗蚜品种(材料)(李庆等,2004;胡木林等,2004)。小麦品种(系)抗禾谷缢管蚜的机制研究涉及到小麦形态学特征、生化特征(次生代谢物质及营养物质)等方面的研究(周福才等,1999;李庆等,2004;胡木林等,2004)。

刺探电位图谱(electrical penetration graph, EPG)技术可以准确记录刺吸式口器昆虫口针在寄主组织中的刺探行为和位置(Tjallingii,1985,1998;罗晨等,2005;胡想顺等,2006)。应用EPG技术已成功地对多种刺吸式昆虫的取食行为和寄主植物抗性位点进行了研究,如甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*(闫凤鸣,2000;Gabrys and Tjallingii,2002)、豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum*(Caillaud,1999;Gabrys and Tjallingii,2002)、桃蚜 *Myzus persicae*(Sauge *et al*.,2002)、棉蚜 *Aphis gossypii*(王咏妙等,2004)、大豆蚜 *A*. *glycines*(韩心丽和严福顺,1995),蚕豆蚜 *A*. *fabae*(Tosh *et al*.,2001,2002)、忽布疣蚜 *Phorodon humuli*(Therasa *et al*.,1996)、悬钩子长管蚜 *Sitobion fragariae*(Ramírez *et al*.,1999)、麦长管蚜 *S*. *avenae* 和禾谷缢管蚜 *R*. *padi*(陈巨莲等,1997),烟粉虱 *Bemisia tabaci*(Jiang e*t al*.,2001;岳梅等,2006)、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*(雷宏和徐汝梅,1998)等。该技术用于禾谷缢管蚜的研究涉及到环氧肟酸类化合物(Givovich and Niemeyer,1995)、甲基茉莉酮酸酯(Slesak *et al*.,2001)、茉莉酮酸(刘勇等,2001)诱导后,干旱(Hale *et al*.,2001;Ponder *et al*.,2005)和营养胁迫(N)(Ponder *et al*.,2005)后寄主对其取食行为的影响,前期蚜虫危害对后续蚜虫取食行为的影响(李军等,2007),以及不同抗级小麦上的刺吸行为比较(陈巨莲等,1997)。本文对禾谷缢管蚜在3个抗蚜水平不同的小麦品种上的刺探、取食行为进行了研究,对抗性部位进行了探讨,以期明确不同小麦品种的抗蚜机制。

1 材料与方法

1.1 供试小麦品种

Batis、Ww2730为德国小麦品种;小偃22由我国小麦和偃麦草远源杂交育成,综合抗逆性良好,目前为关中地区主栽品种。前期研究表明,这3个品种对禾谷缢管蚜的抗性顺序为小偃22 > Ww2730 > Batis,其中小偃22与Ww2730的抗性差异不显著(胡想顺等,2007)。小麦种在9 cm × 9 cm × 10 cm的塑料花盆中,土壤∶沙∶腐殖质∶黑壤土 = 1∶3∶3;温度:白天20℃,夜晚18℃;光照:L∶D = 16 h∶8 h;相对湿度约60% ± 10%;按需浇水。麦苗长至25 ~ 30日龄待用。

1.2 供试虫源

禾谷缢管蚜由联邦德国农林生物研究中心(BBA,Branshweig,德国)实验室饲养在温度:白天15℃,夜晚14℃;光照:L∶D = 16 h∶8 h;相对湿度60% ± 10%的人工智能气候室中。

1.3 EPG的转换、记录与分析

实验在BBA进行。采用DC-EPG Giga-4刺探电位图谱记录仪,将禾谷缢管蚜成蚜与小麦苗分别连入生物电流放大器的昆虫电极和植物电极。昆虫电极是一段长2 ~ 3 cm,直径15 μm的金丝,末端用水溶性导电银胶粘在蚜虫前胸背板上,植物电极插在植物生长的土壤中。当昆虫口针刺入植物组织时,回路接通,回路电流经AD转换器放大转换为数字信号保存于电脑上,再用Probe2.0软件转化成波形图谱输出在电脑屏幕上保存、判读并转换为可供统计的数字文件(Tjallingii,1985,1998;王咏妙等,2004;岳梅等,2006)。总纪录时间为18 h,小偃22、Ww2730、Batis的有效记录样本数分别为16,17,14。

1.4 数据处理

在Excel中进行数据统计、方差分析和SSR比较。

2 结果与分析

2.1 禾谷缢管蚜口针到达韧皮部取食之前的刺探行为

表1显示,禾谷缢管蚜在品种小偃22上第1次刺探的时间分别比Ww2730和Batis晚6 min和7 min,差异显著;第1次刺探的持续时间约为品种Ww2730的1/7,为Batis的1/8,差异极显著。

3个品种(小偃22,Ww2730,Batis)上出现F波(细胞间穿刺遇到机械阻力)的蚜虫个体比率分别为37.5%,58.82%,14.29%;F波的次数为Ww2730 > 小偃22 > Batis,品种间差异显著;Ww2730的F波总时间比Batis的长,且差异显著。说明禾谷缢管蚜在

Ww2730 上的取食遇到机械阻力最大。

2.2　禾谷缢管蚜口针在木质部的刺探行为

禾谷缢管蚜在小偃 22、Ww2730、Batis 上取食时有 G 波的个体分别为 87.50%，85.71%，58.82%；出现大于 10 s 的 G 波时间，小偃 22 和 Ww2730 大于 Batis，差异显著，而次数却无显著差异(表 1)。说明在小偃 22 和 Ww2730 上禾谷缢管蚜花费在木质部主动摄取汁液的时间大于 Batis。

表 1　禾谷缢管蚜在 3 个小麦品种上的 EPG 参数(总纪录时间为 18 h)

Table 1　The EPG parameters of *Rhopalosiphum padi* on three wheat varieties (Total recording time 18 h)

EPG 参数 EPG parameter	小麦品种 Wheat variety		
	小偃 22 Xiaoyan22	Ww2730	Batis
刺探的次数 np	17.56 ± 10.24	17.31 ± 9.34	16.57 ± 10.68
非刺探的总时间 Sum non-np (min)	90.57 ± 84.23	142.47 ± 42.31	115.25 ± 57.94
刺探时间总和 Sum np (min)	989.43 ± 371.50	937.53 ± 327.54	964.75 ± 214.65
第 1 次刺探时间 Time to 1st probing (min)	11.79 ± 5.43 a	5.34 ± 3.27 b	4.23 ± 3.48 b
第 1 次刺探持续时间 Time to 1st sustained probe (min)	11.68 ± 24.14 B	77.03 ± 32.41 A	94.63 ± 37.82A
Pd 波的次数 npd	106.75 ± 42.57 a	86.63 ± 37.51 ab	60.77 ± 33.62 b
Pd 波持续时间 Time to sustained Pd (s)	4.74 ± 1.43	4.85 ± 1.54	4.65 ± 1.33
Pd-I 持续时间 Time to sustained Pd -I (s)	1.39 ± 0.49	1.38 ± 0.44	1.37 ± 0.51
Pd-II 持续时间 Time to sustained Pd -II (s)	1.09 ± 1.01	1.12 ± 0.88	1.20 ± 0.90
Pd-III 持续时间 Time to sustained Pd -III (s)	2.27 ± 1.27	2.36 ± 1.75	2.09 ± 1.34
E 波之前的 C 波 C before E (min)	99.43 ± 31.16	117.97 ± 40.18	106.25 ± 44.65
C 波阶段两个 pd 波间隔时间 Interval time Pd in C(min)	1.43 ± 3.05	1.47 ± 2.52	1.80 ± 2.43
F 波的次数(大于 10 s)Sum F waveforms > 10 s	0.88 ± 1.26 ab	1.56 ± 1.34 a	0.23 ± 0.97 b
F 波(大于 10 s)的时间 Time to Fwaveforms (min) > 10 s	12.38 ± 5.29 b	21.02 ± 6.73 a	1.79 ± 3.48 c
有 F 波的个体比率 Individual percent with F waveform	37.5%	58.82%	14.29%
G 波(大于 10 s)的时间 Time to G waveform (min) > 10 s	127.06 ± 36.77 a	104.72 ± 44.28 a	73.22 ± 37.25 b
G 波的次数(大于 10 s)Sum G waveform > 10 s	4.50 ± 4.05	2.69 ± 3.67	3.76 ± 3.53
有 G 波的个体比率 Individual percent with G waveform	87.50%	85.71%	58.82%
第 1 次 E1 时间点 Time to phloem (1st E1) (min)	181.80 ± 44.49 Bc	257.14 ± 40.24 Aa	211.77 ± 34.94 Bb
E1 波的次数 Sum E1 fractions	10.63 ± 5.42 a	7.25 ± 4.38 ab	4.23 ± 4.67 b
E1 波的时间 Time to E1 waveform (min)	34.85 ± 54.21 a	19.98 ± 25.37 b	22.06 ± 20.28 b
E1 波的平均时间 Duration of per E1 periods (min)	3.28 ± 2.52 b	2.76 ± 1.58 b	5.22 ± 2.37 a
第 1 次 E1 波持续时间 Time to sustained 1st E1 (min)	2.88 ± 3.57 b	1.14 ± 3.05 b	5.15 ± 4.16 a
其他 E1 波持续时间 Time to sustained other E1 wave (min)	3.30 ± 3.94	3.05 ± 4.68	5.44 ± 4.38
没有跟随 E2 波的 E1 波的次数 Sum E1 without E2	2.75 ± 1.55	1.81 ± 1.69	1.77 ± 2.00
没有跟随 E2 的 E1 波时间 E1 periods without E2 (min)	10.87 ± 4.31 a	5.60 ± 3.28 b	5.51 ± 4.37 b
跟随 E2 波的 E1 波的次数 Sum E1 with E1	7.88 ± 3.58 a	5.38 ± 2.02 a	2.46 ± 2.27 b
跟随 E2 波的 E1 波的时间 E1 periods with E1 (min)	23.99 ± 11.34 a	14.38 ± 10.28 b	5.80 ± 8.64 c
E1 波占总的 E 波的时间 E1/(E1 + E2)	0.1154 ± a	0.0263 ± b	0.0286 ± b
第 1 次 E2 时间点 Time to 1st E2 (phloem) (min)	236.33 ± 85.37 b	281.40 ± 42.15 a	279.34 ± 38.26 a
E2 波的次数 Sum E2 fractions	4.63 ± 2.54	3.75 ± 1.91	2.00 ± 2.85
E2 波的时间 Time to E2 periods (min)	648.59 ± 95.27 b	653.33 ± 88.37 b	751.66 ± 112.47 a

表中数据为均值 ± 标准误；同行数据后不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)，不同小写字母表示差异显著($0.01 < P < 0.05$)。The data in the table are mean ± *SE*. Different capital letters show extremely significant difference ($P < 0.01$) compared between different wheat varieties, while different small letters show significant difference ($0.01 < P < 0.05$).

2.3　禾谷缢管蚜口针在韧皮部的刺探行为

表 1 显示，禾谷缢管蚜口针到达韧皮部后仅分泌一次水溶性唾液(E1)就成功取食的个体在小偃 22 上只有 12.5%，而在 Ww2730 和 Batis 上分别为 23.53%和 42.86%，成倍变化；小偃 22 的 E1 波次数显著比 Batis 多，其总时间大于 Batis 和 Ww2730，差异显著。表明禾谷缢管蚜在小偃 22 上要多次、多量分泌水溶性唾液才能保证口针的畅通刺吸行为。

第 1 次 E1 波时间出现的时间次序为小偃 22、Batis、Ww2730，差异(极)显著，禾谷缢管蚜口针在 Ww2730 上到达韧皮部的时间比 Batis 晚了约 45 min，比小偃 22 晚了约 76 min。表明品种 Ww2730 对蚜虫口针在细胞间的穿刺具有较大阻力。

值得注意的是：3 个品种第 1 次 E1 波持续的时间 Batis 显著大于小偃 22 和 Ww2730；而后续的 E1 波持续时间无显著差异。说明虽然禾谷缢管蚜口针在第 1 次到达 Batis 韧皮部时需要分泌较多水溶性唾液，但随后，蚜虫只需分泌较少的水溶性唾液就可

以在 Batis 上成功取食。

在小偃22上，禾谷缢管蚜开始在韧皮部取食（第1次E2）时间点靠前40多分钟，与 Batis、Ww2730差异显著，表明小偃22对蚜虫口针在细胞间穿刺阻力较小；E2波的总时间显著显著，但 Batis 大于 Ww2730和小偃22。这说明虽然蚜虫口针在小偃22上所受阻力最小，率先到达韧皮部，但被动吸食韧皮部汁液的时间（E2）最短，在 Batis 上蚜虫口针较快穿过细胞壁，在韧皮部被动吸食时间最长。

3 结论与讨论

3.1 抗性因子的定位

禾谷缢管蚜在小偃22上主要受表皮物理性状和韧皮部营养成分的阻碍，在 Ww2730上取食遇到机械阻力主要是细胞间阻力。由于木质部是植物输送水分的部位，而蚜虫花费更多的时间在小偃22和 Ww2730的木质部主动摄取汁液，其生物学意义值得进一步深入研究。

蚜虫在小偃22韧皮部有多次的口针试探、回撤，多次、多量分泌水溶性唾液才能完成刺吸行为，而口针在第1次到达 Batis 韧皮部时需要分泌较多水溶性唾液，但随后，蚜虫只需分泌较少的水溶性唾液就可以在 Batis 上成功取食。

不同蚜虫在抗性机制不同的寄主上采取的取食策略不同。如前人研究证明禾谷缢管蚜在曾被取食过的小麦上再次取食时E1波并没有显著缩短，而蚕豆蚜在曾被取食过的蚕豆 *Vicia faba* 叶上的情况却相反（Prado and Tjallingii，1997），悬钩子长管蚜在 Hx 含量高的小麦品种上再次取食时也采取了减少在有毒次生物中暴露时间的策略（Ramírez *et al*.，1997）。本文中，禾谷缢管蚜虽不是在曾被取食过的小麦上饲养，但其在小偃22上第2次E1波时间（9.57 min）却比第1次E1波时间（2.88 min）显著长得多（P = 0.0487），而 Batis 和 Ww2730上两波间无显著差异；禾谷缢管蚜在 Batis 上第1次E1波持续的时间显著大于小偃22和 Ww2730。这是否表明较感蚜的 Batis 韧皮部虽然也有取食抑制物质存在，但禾谷缢管蚜已经适应并克服之，因此蚜虫口针第一次到达 Batis 的韧皮部时需要分泌较多水溶性唾液，但随后蚜虫只需少次、少量分泌较水溶性唾液就可以成功取食，有待进一步研究。

3.2 关于禾谷缢管蚜在韧皮部的取食行为

3个品种上第一次分泌水溶性唾液E1的时间点很晚，最快的在小偃22上口针达到韧皮部平均需要3 h，Batis 上约3.5 h，Ww2730上约4 h；然后在小偃22和 Batis 上用近1 h，在 Ww2730上用近0.5 h才能真正开始取食韧皮部汁液（E2）。可能反映了蚜虫在不同品种上的不同取食策略，有待于进一步验证。

禾谷缢管蚜口针在缺氮的大麦上更难定位并取食（Ponder *et al*.，2000）。茉莉酸甲酯处理小麦幼苗后诱导产生了胰蛋白酶抑制剂，Hx 浓度也增加了，从而导致禾谷缢管蚜的穿刺时间（C）和在韧皮部主动吸食的时间（E2）有减少的趋势（Slesak *et al*.，2001）。郑州891幼苗经茉莉酸诱导后，禾谷缢管蚜E2波历时明显缩短，口针在细胞间穿刺频率明显升高（刘勇等，2001）。这些胁迫条件下的取食行为与本文结论有类似之处。

3.3 关于 EPG 的参数与记录时间

本实验中，E2波中间多次穿插出现E1波，尤其在小偃22上更为频繁。也就是说蚜虫在韧皮部取食是不断地分泌水溶性唾液。因此，在统计时，将E2波间穿插出现的E1波被统计为‘跟随E2波的E1波’。

EPG 技术记录时间一般为3～24 h。前人研究经验表明，记录时间小于8 h，一般不能全面的反应蚜虫的各种刺探、取食行为，而时间太长，则使统计数据大量增加，浪费人力时间。经验表明，持续的E波一般都会在6～10 h内出现，因此8～12 h是较合理的记录时间。本实验中禾谷缢管蚜的记录时间为18 h，实践证明时间有些长，没必要。

致谢 本实验是在德国农林生物研究中心实验室完成的，德国昆虫学家 Udo Heimbach，Thomas Thieme 先生参与了试验设计，EPG 的监测和判读得到了 Michel Hansen 先生的帮助，在此一并深表感谢。

参考文献（References）

Caillaud MC，1999. Behavioural correlates of genetic divergence due to host specialization in the pea aphid，*Acyrthosiphon pisum*. *Entomol. Exp. Appl.*，91（1）：227－232.

Chen JL，Ding HJ，Li ZJ，Ni HX，Sun JR，1997. A comparison study on penetration behaviour of wheat aphids on wheat cultivars with different resistant levels. *Acta Entomol. Sin.*，40（Suppl.）：196－201.［陈巨莲，丁红建，李志坚，倪汉祥，孙京瑞，1997. 麦蚜在不同抗级小麦上刺吸行为的比较. 昆虫学报，40（增刊）：196－201］

Ernesto PC，1997. Aphid-plant Interactions at Phloem Level，a Behavioural Study. WAU Dissertation No. 2326. http://library.wur.nl/wda/abstracts/ab2326.html.

Gabrys B，Tjallingii WF，2002. The role of sinigrin in host plant recognition by aphids during initial plant penetration. *Entomol. Exp. Appl.*，104（1）：89－93.

Givovich A，Niemeyer HM，1995. Comparison of the effect of hydroxamic acids from wheat on five species of cereal aphids. *Entomol. Exp. Appl.*，74（2）：115－119.

Guo LZ，Liu SY，Su L，2000. Studies on the damage loss and the economic threshold of *Rhopalosiphum padi*（L.）in wheat. *Plant Protection*，26（6）：12－14.［**郭良珍，刘绍友，苏丽，2000. 小麦禾谷缢管蚜的危害损失和防治指标研究. 植物保护，26（6）：12－14**］

Hale B，Bale J，Pritchard J，Masters G，Brown V，2001. Response of a Sap Feeding Insect *Rhopalosiphum padi* to Drought Stress in Wild and Cultivated Plants. The ESA 2001 Annual Meeting – 2001：An Entomological Odyssey of ESA. http://esa.confex.com/esa/2001/techprogram/paper_1423.htm.

Han XL，Yan FS，1995. Stylet penetration behaviour of soybean aphid，*Aphis glycines*，on host and non-host plants. *Acta Entomol. Sin.*，38（3）：278－283.［**韩心丽，严福顺，1995. 大豆蚜在寄主与非寄主植物上的口针刺吸行为. 昆虫学报，38（3）：278－283**］

Hu ML，Chen Y，Zheng XL，Wu HH，Zeng FH，2004. Resistance to birdcherry aphid，*Rhopalosiphum padi*（Aphididae：Homoptera）in 35 turfgrass varieties. *Acta Horticul. Sin.*，31（6）：784－787.［**胡木林，陈燕，郑小林，吴海生，曾富华，2004. 35 个草坪草品种对禾谷缢管蚜抗性的研究. 园艺学报，31（6）：784－787**］

Hu XS，Liu XF，Zhao HY，2006. Development and application of electrical penetration graph（EPG）technique. *Plant Protection*，（3）：1－4.［**胡想顺，刘小凤，赵惠燕，2006. 刺探电位图谱（EPG）技术的原理与发展. 植物保护，（3）：1－4**］

Hu XS，Zhao HY，Hu ZQ，Guo XC，Xu LQ，Li DH，Zhang YH，2007. Biological parameters of bird cherry-oat aphids feeding on wheat seedling and wheat resistance to aphid. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*，35（6：157－162.［**胡想顺，赵惠燕，胡祖庆，郭晓晨，徐烈琴，李东鸿，张宇红，2007. 小麦苗期禾谷缢管蚜生物学反应及抗蚜性分析. 西北农林科技大学学报，35（6）：157－162**］

Lei H，Xu RM，1998. Electrical penetration graphs of greenhouse whitefly，*Trialeurodes vaporariorum*（Westwood）. *Acta Entomol. Sin.*，41（2）：113－123.［**雷宏，徐汝梅，1998. 温室白粉虱取食行为的刺探电位（EPG）研究. 昆虫学报，41（2）：113－123**］

Li J，Zhao HY，Heimbach U，Thieme T，2007. Effect of resistant wheat attacked by previous aphids on biological characteristics of subsequent aphids. *Acta Entomol. Sin.*，50（2）：197－201.［**李军，赵惠燕，**Udo Heimbach，Thomas Thieme，2007. **两种麦蚜取食诱导小麦抗性品种后对后来取食蚜生物学特性的影响. 昆虫学报，50（2）：197－201**］

Li Q，Ye HZ，Yang QF，Jiang SR，2004. The biochemical mechanism of resistance of the perennial wild relatives in Triticeae to oat-bird cherry aphids. *Acta Phytophy. Sin.*，31（1）：1－5.［**李庆，叶华智，杨群芳，蒋素蓉，2004. 七种小麦近缘的野生植物对禾谷缢管蚜抗性的生化机制. 植物保护学报，31（1）：1－5**］

Liu Y，Chen JL，Ni HX，Hu C，2001. Effects of wheat seedlings induced by jasmonic acid on feeding behavior of wheat aphids. *Acta Phytophy. Sin.*，28（4）：325－330.［**刘勇，陈巨莲，倪汉祥，胡萃，2001. 茉莉酸诱导小麦幼苗对麦蚜取食行为的影响. 植物保护学报，28（4）：325－330**］

Luo C，Yue M，Xu HF，Zhang ZL，2005. Application of electrical penetration graph（EPG）in entomological studies and new findings. *Acta Entomol. Sin.*，48（3）：437－443.［**罗晨，岳梅，徐洪富，张芝利，2005. EPG 技术在昆虫学研究中的应用及进展. 昆虫学报，48（3）：437－443**］

Jiang YX，Nombela G，Muñiz M，2001. Analysis by DC EPG of the resistance to *Bemisia tabaci* on a Mi-tomato line. *Entomol. Exp. Appl.*，99（3）：295－302.

Ponder KL，Pritchard J，Harrington R，Bale JS，2001. Feeding behaviour of the aphid *Rhopalosiphum padi*（Hemiptera：Aphididae）on nitrogen and water-stressed barley（*Hordeum vulgare*）seedlings. *Bull. Entomol. Res.*，91：125－130.

Prado E，Tjallingii WF，1997. Effects of previous plant infestation on sieve element acceptance by two aphids. *Entomol. Exp. Appl.*，82（2）：189－200.

Ramírez CC，Caballero PP，Niemeyer HM，1999. Effect of previous exposure to hydroxamic acids in probing behavior of aphid *Sitobion fragariae* on wheat seedlings. *J. Chem. Ecol.*，25（4）：771－779.

Sauge MH，Lacroze JP，Poessel JL，Pascal T，Kervella J，2002. Induced resistance by *Myzus persicae* in the peach cultivar‘Rubira’. *Entomol. Exp. Appl.*，102：29－37.

Slesak E，Slesak M，Gabrys B，2001. Effect of methyl jasmonate on hydroxamic acid content，protease activity，and bird cherry oat aphid *Rhopalosiphum padi*（L.）probing behavior. *J. Chem. Ecol.*，27（12）：2 529－2 543.

Therasa AP，Peter D，Colin PG，1996. Electrical penetration graphs of the damson-hop aphid，*Phorodon humuli* on resistant and susceptible hops（*Humulus lupulus*）. *Entomol. Exp. Appl.*，80：335－342.

Tjallingii WF，1985. Electrical nature of record signals during styled penetration by aphids. *Entomol. Exp. Appl.*，38：177－186.

Tjallingii WF，1998. Electrical recording of stylet penetration activities. In：Minks AK，Harrewijn P eds. Aphids，Their Biology，Natural Enemies and Control，1988. Amsterdam：Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. 88（2）：95－108.

Tosh CR，Powell G，Hardie J，2002. Maternal reproductive decisions are independent of feeding in the black bean aphid，*Aphis fabae*. *Journal of Insect Physiology*，48（6）：619－629.

Tosh CR，Walters KFA，Douglas AE，2001. On the mechanistic basis of plant affiliation in the black bean aphid（*Aphis fabae*）species complex. *Entomol. Exp. Appl.*，99（1）：121－125.

Wang YM，Zhang PF，Chen JQ，2004. Host-preference biotypes of the cotton aphid，*Apis gossypii* Glover and the behavioral mechanism in their formation. *Acta Entomol. Sin.*，47（6）：760－767.［**王咏妙，张鹏飞，陈建群，2004. 棉蚜寄主专化型及其形成的行为机理. 昆虫学报，47（6）：760－767**］

Yan FM，2000. Role of glucosinolates in the host plant part preferences by the cabbage aphid，*Brevicoryne brassicae*. *Acta Entomol. Sin.*，43（3）：297－304.［**闫凤鸣，2000. 芥子油苷在甘蓝蚜寄主部位选择行为中的作用. 昆虫学报，43（3）：297－304**］

Yang YZ，Yin Y，Wang H，Yu YS，2005. Influence of honeydew on the wheat yield and nutritive qualities. *Chinese Agricultural Science Bulletin*，21（1）：268－172.［**杨益众，印毅，王红，余月书**，2005. **蜂蜜模拟麦蚜蜜露危害对小麦产量和主要营养品质的影响**. **中国农学通报**，21（1）：268－172］

Yue M，Luo C，Guo XJ，Zhang ZL，2006. Probing and feeding behaviors of the whitefly *Bemisia tabaci*（Gennadius）B biotype on three host plants. *Acta Entomol. Sin.*，49（4）：625－629.［**岳梅，罗晨，郭晓军，张芝利**，2006. B **型烟粉虱在甘蓝、西葫芦和辣椒上的刺吸取食行为**. **昆虫学报**，49（4）：625－629］

Zhou FC，Lu ZQ，Chen LF，Zhu SD，Chen GQ，Xu YH，Li X，Xiao WX，1999. The correlativity between soluable sugars of wheat and resistance to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* L. *Journal of Jiangsu Agriculture*，20（2）：60－63.［**周福才，陆自强，陈丽芳，祝树德，陈国庆，徐勇惠，李祥，肖维香**，1999. **小麦麦株内可溶性糖与抗禾谷缢管蚜的关系**. **江苏农业研究**，20（2）：60－63］

（责任编辑：袁德成）